

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-066482

(43)Date of publication of application : 10.03.1995

(51)Int.Cl.

H01S 3/1055

H01S 3/08

(21)Application number : 05-232231

(71)Applicant : ANRITSU CORP

(22)Date of filing : 26.08.1993

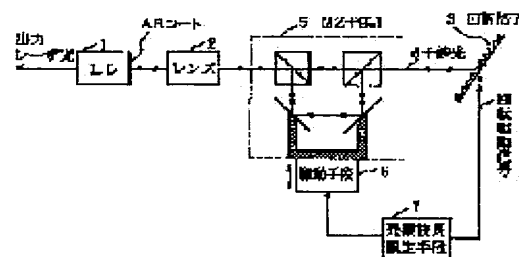
(72)Inventor : GOTO HIROSHI

(54) VARIABLE WAVELENGTH LIGHT SOURCE

(57)Abstract:

PURPOSE: To select the longitudinal mode of an external resonator with high repeatability and, at the same time, to improve the side mode suppressing ratio of the resonator by using an interferometer constituted as an optical filter as part of the external resonator.

CONSTITUTION: The light emitted from the AR-coated end face of an LD 1 is made incident to an MZ interferometer 5 constituted as an optical filter as a parallel beam 2 after passing through a lens 2. Interference light (d) is emitted toward a diffraction grating 3 from the interferometer 5. From the grating 3, only the light having a specific wavelength selected by spectroscopically scattering the interference light (d) reversely advances along the same optical path and reaches the LD 1. Therefore, a resonator is formed between the LD 1 and grating 3 and a laser beam having a wavelength which is decided by the relation among the longitudinal mode of an external resonator, resonance loss by the grating 3, and the interference light (d) outputting characteristic of the interferometer 5 is oscillated.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-66482

(43)公開日 平成7年(1995)3月10日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 S 3/1055
3/08

H 0 1 S 3/ 08

Z

審査請求 未請求 請求項の数2 F D (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平5-232231

(22)出願日 平成5年(1993)8月26日

(71)出願人 000000572

アンリツ株式会社

東京都港区南麻布5丁目10番27号

(72)発明者 後藤 寛

東京都港区南麻布五丁目10番27号 アンリ
ツ株式会社内

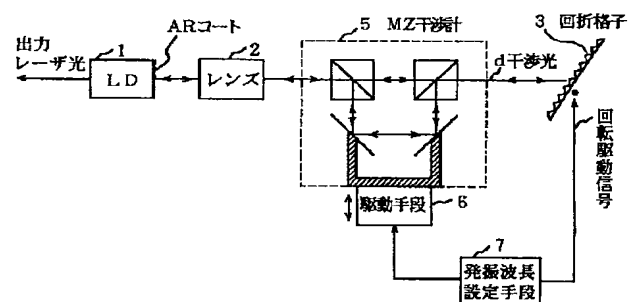
(74)代理人 弁理士 小池 龍太郎

(54)【発明の名称】 可変波長光源

(57)【要約】

【目的】 半導体レーザ (L D) を用いた外部共振型の可変波長光源において、光フィルタとしての干渉計を外部共振器の一部とすることで、外部共振器縦モードを再現性よく選択できるとともに、サイドモード抑圧比を改善する。

【構成】 L D 1 の A R コートされた端面から出射した光は、レンズ 2 で平行ビームとなって、光フィルタとしての M Z 干渉計 5 に入射する。M Z 干渉計 5 からは、干渉光 d が回折格子 3 へ向けて出射される。そして、回折格子 3 からは、干渉光 d を分光分散することによって選択された特定の波長のみが、同じ光路を再び逆に進み L D 1 へ戻る。これによって、L D 1 と回折格子 3 との間で共振器を形成し、外部共振器縦モード、回折格子 3 による共振損失、及び M Z 干渉計 5 からの干渉光 d の出力特性の三つの関係で決まる波長のレーザ発振を行う。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 一方のレーザ光出射端面が AR コートされている半導体レーザ (1) と、該一方のレーザ光出射端面から出射された光を受け分光分散する回折格子

(3) とを備えた外部共振型の可変波長光源であって、前記半導体レーザと前記回折格子とで構成される共振器の光路内に設けられ、かつ、光を 2 分し、光路差を形成した後に合波することにより、前記回折格子に向けて出射する光の透過率が所定の波長で高くなるようにされた干渉計を用いた光フィルタ (5) と、
前記光路差を可変する駆動手段 (6) とを備えた可変波長光源。

【請求項 2】 前記光フィルタから出射される干渉光の一部を検出し、前記駆動手段に検出信号を帰還することによって前記光路差を調整する制御手段 (8) を備えた請求項 1 記載の可変波長光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体レーザを用いた外部共振型の可変波長光源に関し、特に、干渉計を用いた光フィルタを外部共振器の一部とすることによって、レーザ光の発振波長を再現性よく高分解に可変でき、サイドモード抑圧比、スペクトラム線幅等の諸特性を改良した可変波長光源に関する。本発明の可変波長光源は、

$$m\lambda = d(\sin\theta + \sin\beta), \quad (m=0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad \dots (1)$$

の関係がある。回折格子 3 へ入射した光のうち、(1) 式で $\theta = \beta$ となる波長成分は再び LD 1 へ戻りそこで共振器 (共振器長 L) を形成する。このとき発振する波長は、図 11 で示すように、LD 1 の利得スペクトルと、共振器損失の波長特性 (主に回折格子 3 の特性)、及び光の位相条件で決まる外部共振器縦モードによって決定

$$n\lambda = 2L \quad (n \text{ は自然数, } L \text{ は上述の共振器長}) \quad \dots (2)$$

またこのときの、それぞれの外部共振器縦モード間隔 $\Delta\lambda$ は、

$$\Delta\lambda = \lambda^2 / 2L \quad \dots (3)$$

である。図 11 において、共振器の損失が一番小さくなる波長は、回折格子 3 への入射角 θ を変えることにより図中点線のように変化する。すなわち、この方式によれば、回折格子 3 を回転することで、LD 1 の広い利得幅のある範囲で任意の外部共振器縦モードを選択することができる。なお、外部共振器縦モードの選択性は回折格子 3 の分解能に依存する。例えば、図 11 に示す外部共振器縦モードを順番に発振させるためには、回折格子 3 を回転させて、外部共振器縦モード間隔 $\Delta\lambda$ 毎に入射角 θ を設定する必要がある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】このような回折格子を用いた外部共振型の可変波長光源においては、① スペクトラム線幅を狭くする、② サイドモード抑圧比を上げる、つまり選択した外部共振器縦モード以外のモード

ヘテロダイン方式を用いたコヒーレント光通信システム、波長多重光通信システム等に用いられるものである。

【0002】

【従来の技術】従来、半導体レーザを用いた外部共振型の可変波長光源の代表として、外部回折格子により波長選択を行うものがあった。図 9 に、従来の外部共振型の可変波長光源の構成を示す。半導体レーザ (LD) 1 の無反射コート (AR コート、AR:Anti-Reflection) された端面から出射した光は、レンズ 2 で平行ビームとなって回折格子 3 へ入射し分光分散されて、後述するように特定の波長のみが LD 1 へ戻る。これによって、LD 1 の AR コートされていない端面と回折格子 3 との間で共振器を形成し、共振器長 L で決まる波長のレーザ発振を行う。出力レーザ光は、LD 1 の AR コートされていない端面から出射する。なお、発振波長設定手段 4 は、回折格子 3 を図中矢印の向きに回転させ、レンズ 2 から回折格子 3 へ入射する光の入射角 θ を設定する。

【0003】ここで、上記レーザ発振の原理について詳述する。回折格子 3 に入射した光は、その波長によって回折される角度が異なる。すなわち、図 10 に示すように回折格子 3 の格子定数を d、回折格子 3 への入射角を θ とした場合、出射角が β となる波長 λ は、

される。すなわち、この利得から損失を引いた値が一番大きくなるような外部共振器縦モードで発振する。

【0004】この外部共振器縦モードとは、光が共振器内を往復したときに定在波ができるための条件であり、次式で与えられる。

の影響を少なくする、といったことが可変波長光源を実現する上で重要な課題となる。上記①を実現するためには、図 9 において、LD 1 と回折格子 3 との共振器長 L を長くする必要があるが、次のような問題が生じる。

【0006】(a) 前述の (3) 式から分かるように、共振器長 L を長くすると外部共振器縦モード間隔 $\Delta\lambda$ が狭くなる。これにより、回折格子 3 の外部共振器縦モードの選択性が悪くなるために、発振波長の再現性が悪くなる。また、各モード間の共振器損失差も小さくなるために、サイドモード抑圧比が劣化する。したがって、上記②が満足されなくなる。これを解決するためには、回折格子 3 の分解能を上げることが考えられるが、回折格子 3 の分解能は格子定数 d に比例し、現状、この格子定数 d を小さくすることは物理的限界にきている。

【0007】そこで、上記 (a) の問題を解決するとともに、上記②の課題も満足させるために、図 9 において、LD 1 と回折格子 3 とで形成される共振器内に光フィルタ (波長フィルタ) を挿入して、外部共振器縦モー

ドの選択性を高める方式が考えられる。これを実現する方式として、従来から、ファブリペロエタロン（以下単にエタロンという）を光フィルタとして使用するものがあったが、次のような問題があった。

【0008】(b) エタロンの共振器長の設定精度として 10^{-12} m オーダが要求されるが、その制御が非常に難しい。また、エタロンに入射される光の反射光が LD1 へ戻るのを避けるために、エタロンを光軸に対して傾けて配置しなければならない、そのために制御が更に難しくなる。本発明の目的は、上記課題を解決し、簡単な制御系で確実に同一の外部共振器縦モードを選択できる可変波長光源を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明では、外部共振器縦モードの選択性を高めるための光フィルタとして、光を 2 分し光路差を形成した後に合波することで干渉を起こさせる干渉計を利用できる点、及びこのような干渉計からは 2 系統の干渉光を取り出すことができる点に着眼した。そのために、半導体レーザと回折格子とで構成される共振器の光路内に光フィルタとしての干渉計と、この干渉計の光路差（すなわち光フィルタの通過波長帯域）を可変する駆動手段とを備えた。また、別の発明では、光フィルタとしての干渉計から取り出した一系統の干渉光を検出して、この検出した信号に基づいて駆動手段を制御することによって干渉計の光路差を自動的に調整する制御手段を備えた。

【0010】

【作用】干渉計を光フィルタとして利用することについて、マッハツェンダ干渉計（以下 MZ 干渉計とする）を例に説明する。MZ 干渉計は、図 2 に示すように、二つのハーフミラー 51、52 と二つの全反射ミラー 53、54 で構成されている。入力光 a はハーフミラー 51 で 2 分され、一方は直接ハーフミラー 52 に、他方は全反射ミラー 53 及び全反射ミラー 54 を経由してハーフミラー 52 に入力し、そこで両方の光が合波される。そのとき、二つの光によって干渉が生じ、合波された光は干渉光となる。そして、ハーフミラー 52 からは、2 系統の干渉光（出力光 b、出力光 c）が出力される。

【0011】ここで、この MZ 干渉計を光フィルタとして用いた場合の光学的特性について具体的に説明する。ハーフミラー 51 から出て直接ハーフミラー 52 に到達する光の光路長 L_1 とハーフミラー 51 から出て二つの全反射ミラー 53、54 を経由してハーフミラー 52 に到達する光の光路長 L_2 との光路差を ΔL とすると、この光フィルタのフリースペクトラムレンジ (FSR) は、

$$FSR = c / \Delta L \quad (c \text{ は光速}) \cdots (4)$$

となる。これを、入力光に対する出力光の強度比である透過率の波長特性（又は周波数特性）との関係で示すと、図 3 のようになる。図から、透過率は 0 ~ 1 の間を

波長に対して周期的に繰り返すこと、 ΔL を変えればピーク波長（透過率が 0 又は 1 となる波長）を変化させることができること、また、ハーフミラー 52 から出力される出力光 b、c の特性は丁度反転していることが分かる。したがって、光路差 ΔL を可変して透過率の 1 となる波長を、発振させたい外部共振器縦モードに合わせることによって、外部共振器縦モードの選択性を高める光フィルタとして MZ 干渉計を利用することができる。

【0012】また、反転して特性の揃った 2 系統の干渉光を、出力光 b 及び出力光 c として取り出せるので、透過率が 1 となる一方の干渉光を回折格子に向けて出射し、透過率が 0 となる他方の干渉光を自己の光路差 ΔL を安定化させるための制御用の信号とすることができる。すなわち、透過率が 0 となる点を検出して、温度変化等で光路差 ΔL が変化した場合にも、常にこの透過率が 0 となる（換言すれば、回折格子に向けて出射される干渉光の透過率が 1 になる）ように光路差 ΔL を制御（補正）することができる。なお、光路差 ΔL の設定精度としては、 10^{-8} m オーダで十分であるため、前述したエタロンの場合（ 10^{-12} m オーダが必要）に比べて制御が格段に簡単になる。

【0013】

【実施例】以下、図面に基づいて本発明の一実施例を説明する。

（第 1 の実施例）図 1 は、本発明の第 1 の実施例で、MZ 干渉計を用いた可変波長光源のブロック図である。なお、従来例と同一の構成部分には同一の記号を付けてある。LD1 の AR コートされた端面から出射した光は、レンズ 2 で平行ビームとなって、光フィルタとしての MZ 干渉計 5 に入射する。MZ 干渉計 5 からは、前述したような原理に基づいて発生した干渉光の一方（干渉光 d）が回折格子 3 に向けて出射される。そして、回折格子 3 からは、干渉光 d を分光分散することによって選択された $\lambda = 2d \sin \theta$ （(1) 式参照）を満たす波長成分が、同じ光路を再び逆に進み LD1 へ戻る。

【0014】これによって、LD1 の AR コートされていない端面と回折格子 3 との間で共振器（共振器長 L）を形成し、共振器長 L で決まる外部共振器縦モード、回折格子 3 による共振損失、及び MZ 干渉計 5 からの干渉光 d の出力特性の三つの関係で決まる波長のレーザ発振を行う。これらの関係を、図 5 (a), (b), (c) を用いて具体的に説明する。すなわち、図 5 (c) の外部共振器縦モード（例えば①, ②, ③）の中から、図 5 (a) の回折格子 3 による共振損失が最小で、かつ、図 5 (b) の MZ 干渉計 5 からの干渉光 d の出力（透過率）が最大となる二つの条件を満足する、外部共振器縦モードの①が発振する。

【0015】なお、MZ 干渉計 5 から出射される干渉光 d の出力（透過率）の波長特性（図 5 (b)）が、MZ 干渉計 5 の光路差 ΔL によって決められることについて

は既に述べたが、更に、ここでは、光路差 ΔL を具体的にどの程度にすればよいかを説明する。可変波長光源としては、1 MHz 以下のスペクトラム線幅が要求されており、これを実現するためには数 10 mm の共振器長が必要となる。したがって、以下、共振器長を 30 mm とする場合を例に説明する。すなわち、1.5 μ m 帯の可変波長光源では、図 1 における共振器長を 30 mm とすると、外部共振器縦モード間隔は 5 GHz (図 5 (c)) となる。また、回折格子 3 の分解能は、現状のもので最高で 50 GHz 程度 (図 5 (a)) ある。一方、LD 1 から出射した光は MZ 干渉計 5 内を往復するので、フィルタとしての効果は一方向の場合の 2 倍となる。これらのことを考慮すると、任意の外部共振器縦モードを再現性よく選択し、かつ高いサイドモード抑圧比を得るためには、MZ 干渉計 5 をフィルタとして用いた場合の分解能 (図 5 (b)) を外部共振器縦モード間隔の 2 倍程度 (10 GHz) にすればよいことになり、これは光路差 ΔL を 30 mm とすることで達成できる。

【0016】また、MZ 干渉計 5 には駆動手段 (アクチュエータ) 6 を備え、二つの全反射ミラーを連動して矢印の方向に移動させ、すなわち図 2 に示す光路長 L_2 を変えて、MZ 干渉計 5 の光路差 ΔL を可変するようにしている。なお、駆動手段 6 にはピエゾ (PZT) 等を用いることができる。発振波長設定手段 7 は、マイクロプロセッサ等で構成されており、上記の駆動手段 6 を制御するとともに、従来技術で述べたように、干渉光 d の回折格子 3 への入射角 θ を設定する。したがって、図 5 (c) に示すように、発振波長を外部共振器縦モードの ① から ② 又は ③ に可変するときには、MZ 干渉計 5 の光路差 ΔL 及び回折格子 3 の入射角 θ を、それぞれ発振波長設定手段 7 によって設定、制御する。

【0017】このような構成においては、光フィルタとして MZ 干渉計 5 を用いて、外部共振器縦モードの選択性を高めること (具体的には、図 5 (c) において、外部共振器縦モードの ① に対して ② 及び ③ との共振器内の損失差が大きくなる) ができたので、従来以上に一つのモード (例えば ①) のみを安定に再現性よく発振させることができ、またサイドモード抑圧比 (具体的には、① に対する ② 及び ③ のレベル差) を大幅に上げることができた。

【0018】(第 2 の実施例) 図 4 は、本発明の第 2 の実施例で、MZ 干渉計と制御ループを用いた可変波長光源のブロック図である。この実施例は、第 1 の実施例 (図 1) に対して制御手段 8 を追加し、MZ 干渉計 5 から出射される反転して特性の揃った 2 系統の干渉光 d, e の一方の干渉光 e を検出して、この検出した信号を駆動手段 6 に帰還することによって MZ 干渉計 5 の光路差 ΔL を自動的に調整するようにしたものである。したがって、第 1 の実施例 (図 1) と共通する部分についての説明は省略する。

【0019】MZ 干渉計 5 から出射される干渉光 e (図 2 の出力光 c に相当) は、図 5 (b) に示すように、回折格子 3 へ出射される干渉光 d (図 2 の出力光 b に相当) の特性を丁度反転させたものである。MZ 干渉計 5 から出射された上記干渉光 e は、光電変換器 81 に入射し電気信号に変換される。光電変換器 81 から出力されたこの電気信号は、増幅器 82 で増幅された後に比較回路 83 に入力される。比較回路 83 は、図 5 (b) に示す干渉光 e の透過率の最小点 (周波数ロック動作点) を検出するために、後述する基準電圧 (図示していない) と増幅器 82 からの電圧とを比較して、基準電圧に対する差電圧を出力する。

【0020】制御回路 84 は、マイクロプロセッサ等で構成されており、比較回路 83 から出力される上記差電圧を受けて、この差電圧が零、言い換えれば、上記干渉光 c が最小となるように駆動手段 6 を制御する。具体的には、周波数ロック動作点 (図 5 (b) の干渉光 c) が外部共振器縦モードの ① (図 5 (c)) と一致するように駆動手段 6 を制御する。これによって、MZ 干渉計 5 の光路差 ΔL の変動を制御するための制御 (帰還) ループが形成される。

【0021】なお、上記比較回路 83 の基準電圧としては、制御回路 84 によって光路差 ΔL を変化させる場合の、変化させる前に増幅器 82 から出力されている電圧を用いるようにして、光路差 ΔL が制御回路 84 によって制御される毎に、その基準電圧を増幅器 82 からの電圧に置き換えるようにしてもよい。これは、一つ前の状態を基準にして次の制御を行う、すなわち相対的な基準 (基準電圧) を設けて制御を行うようにしたものである。また、別の方法としては、外部共振器縦モードのそれぞれにおいて、干渉光 e の透過率を最小にするように設定したときの増幅器 82 からの電圧を予めメモリに記憶させておき、発振波長 (すなわち外部共振器縦モード) を設定する毎に、その電圧をメモリから読出して基準電圧とするようにしてもよい。これは、絶対的な基準 (基準電圧) を設けて制御を行うようにしたものである。また、上述の光電変換器 81、増幅器 82、比較回路 83 及び制御回路 84 は、制御手段 8 を構成している。

【0022】このような構成においては、光フィルタとして MZ 干渉計 5 を用いるとともに、MZ 干渉計 5 から出射される 2 系統の干渉光 d, e の一方の干渉光 e を検出して、駆動手段 6 を制御するようにしたので、温度変化等で MZ 干渉計 5 の光路差 ΔL が変化した場合にも、光フィルタとしての MZ 干渉計 5 の通過波長帯域の中心 (透過率が最大の点) を外部共振器縦モードの波長に一致させるように光路差 ΔL を自動的に制御することができた。これによって、第一の実施例より更に安定した可変波長光源を実現することができた。

【0023】(第 3 の実施例) 図 6 は、本発明の第 3 の

【００２７】（第５の実施例）図８は、本発明の第５の実施例で、マイケルソン干渉計と制御ループを用いた可変波長光源のブロック図である。この実施例は、光フィルタとしての干渉計に、マイケルソン干渉計を用いたものであり、第２の実施例（図４）のMZ干渉計５をマイケルソン干渉計１０に置き換えたものである。したがって、第２の実施例（図４）と共通する部分についての説

1、1 a・・・半導体レーザ（LD）、2、2 a・・・レンズ、3・・・回折格子、4、7・・・発振波長設定手段、5・・・MZ干渉計、6・・・駆動手段、8・・・制御手段、9

20

30

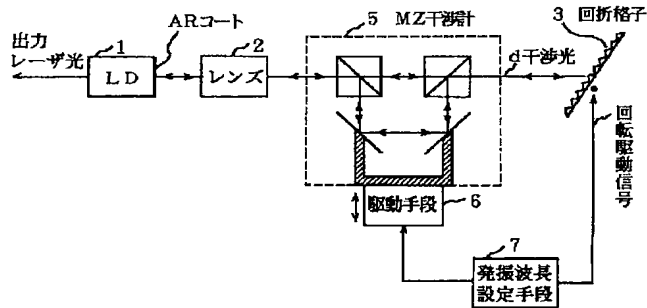
40

50

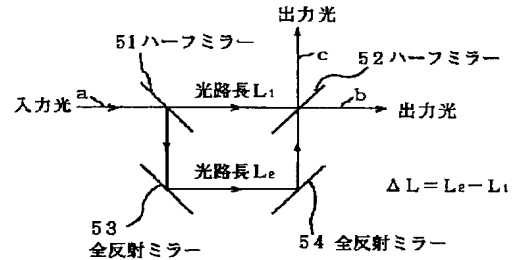
……LDバイアス制御回路、10……マイケルソン干渉計、51、52……ハーフミラー、53、54……全反

射ミラー、81……光電変換器、82……増幅器、83……比較回路、84……制御回路。

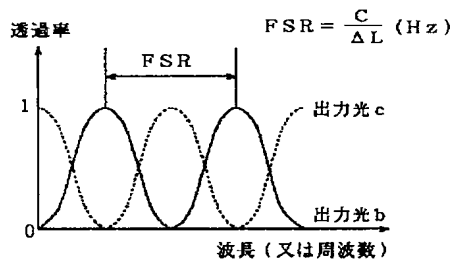
【図 1】



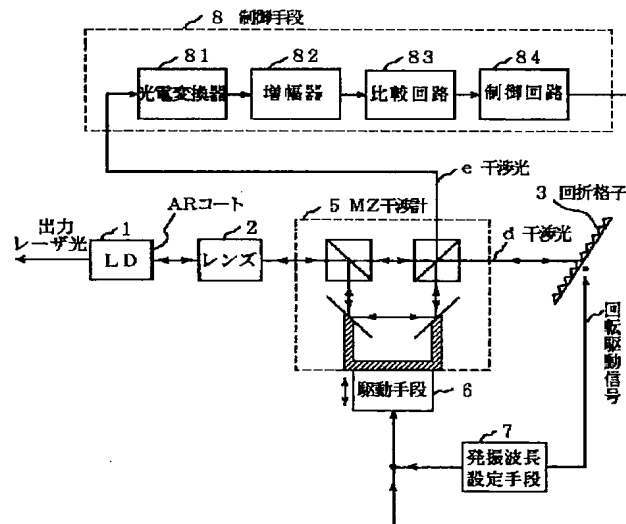
【図 2】



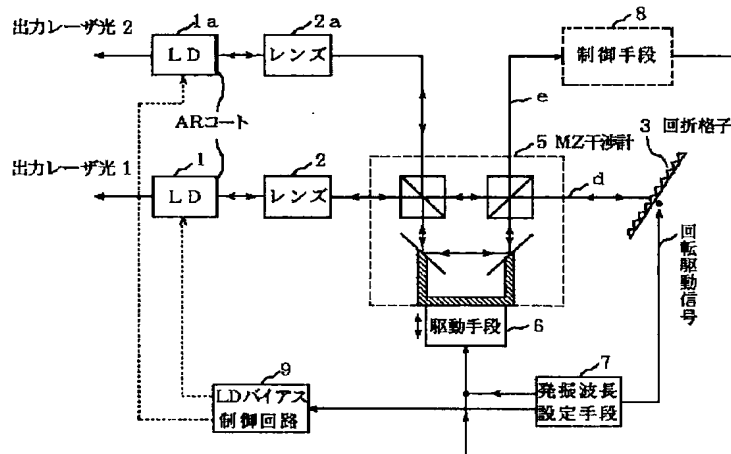
【図 3】



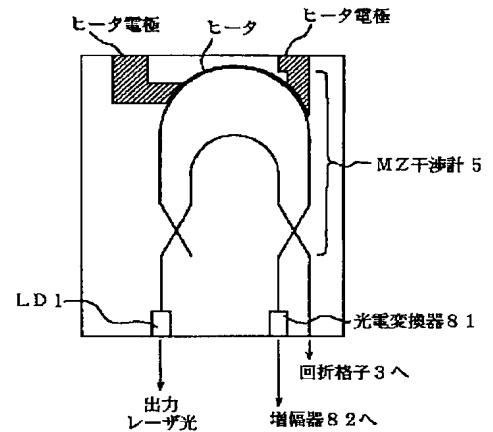
【図 4】



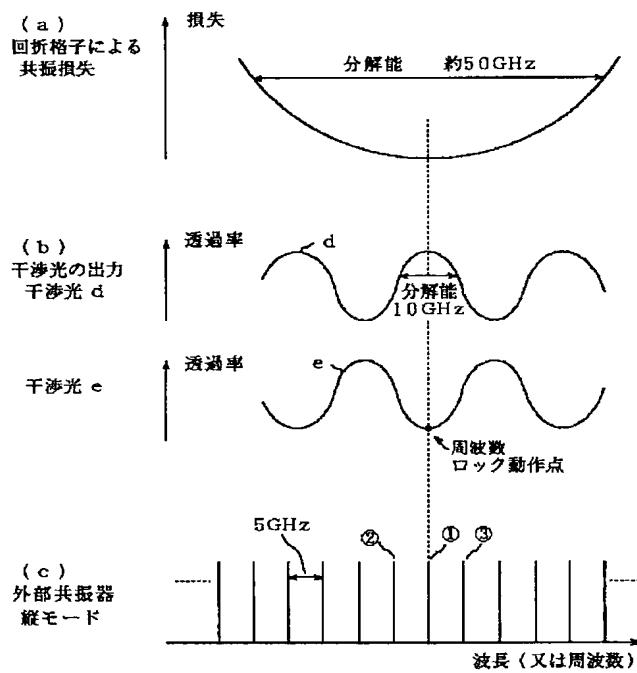
【図 6】



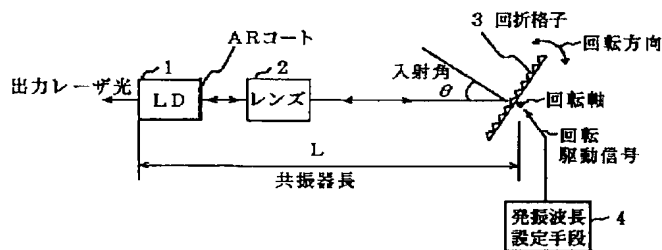
【図 7】



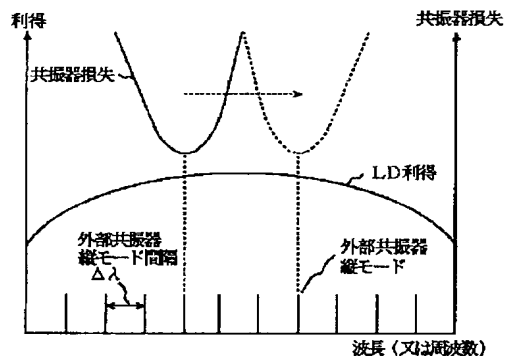
【図 5】



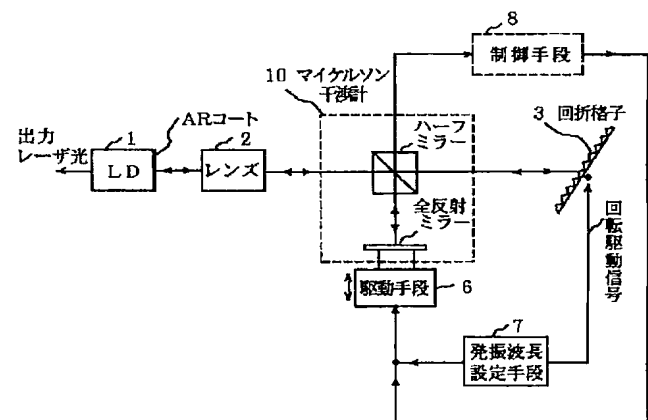
【図 9】



【図 11】



【図 8】



【図 10】

